БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА
SAFETY OF HUMAN ACTIVITY



УДК 621.317.328 DOI 10.12737/12591

Оценка электромагнитной обстановки на крыше жилого здания в присутствии антенны сотовой связи*

М. Ю. Звездина[1], А. В. Шоков[2], Ю. А. Шокова[3], А. Р. Лебедев[4]**
[1,2,3,4] Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Electromagnetic radiation security estimation on the residential building roof for cellular antenna ***

M. Yu. Zvezdina[1], A. V. Shokov[2], Y. A. Shokova[3], A. R. Lebedev[4]**
[1,2,3,4] Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Целью работы является оценка электромагнитной обстановки на крыше здания с установленной на ней антенной базовой станции системы сотовой связи. Данная задача возникает при проведении профилактических, а также ремонтно-монтажных работ на антенно-фидерных устройствах. Задача оценки экологической экспертизы электромагнитной обстановки на стандартной высоте два метра над поверхностью крыши здания решена методом расчетного прогнозирования. При построении электродинамической модели распределения плотности потока энергии от антенны используются две строгие модели: двухлучевая модель, описывающая отражение плоской электромагнитной волны от плоской идеально проводящей поверхности крыши, а конечные модели крыши описываются с использованием канонической задачи на бесконечном клине. Отличием разработанной модели от известных является возможность проведения исследований не в отдельных расчетных точках, а в пределах всей расчетной плоскости. При проведении моделирования характеристики излучения антенны могут вводиться несколькими способами, в том числе и из паспортных данных на объект излучения, как предложено в известной методике. Приводятся результаты моделирования распределения плотности потока энергии в горизонтальной плоскости в пределах крыши. Расчетные точки размещаются в узлах прямоугольной координатной сетки с периодом в четверть длины волны передатчика. Сформулирована физическая трактовка полученных результатов, сделано заключение о безопасности нахождения людей на крыше при функционирующей антенне системы сотовой связи GSM при использовании антенн с направленными характеристиками.

Ключевые слова: мониторинг электромагнитной обстановки, плотность потока энергии, метод расчетного прогнозирования, дифракция волны на клине.

The work objective is to estimate the electromagnetic environment on the roof where a mobile system base station aerial is installed. The problem arises during maintenance, repair, and assembly operations for antenna-feeder devices. The evaluation problem for ecological assessment of the electromagnetic environment at a standard height of two meters above the roof is solved with the computational prediction method. Two strict models are used for electrodynamic simulation of energy flux density, i.e. a two ray model which describes the plane electromagnetic wave diffraction on the flat perfectly conducting roof surface, and finite models of the roof are described with the canonical problem on a wedge of infinite extent. The difference between the developed model and the known ones lies within the research possibility not only in the computational points but within a whole computational plane. In the simulation process, antenna emission characteristics can be set in a number of ways including those obtained from the radiation object specifications, as it is proposed in a well-known technique. The simulation results for energy flux density distribution in a horizontal plane within the roof space are given. Computational points are placed at the square grid nodes with the period of a quarter wavelength of the transmitter. A physical interpretation of the obtained results is given. A safety conclusion on the human presence on the roof with operating directional cel lular antenna of GSM standard is formulated.

Keywords: electromagnetic environment monitoring, energy flux density, computational prediction method, wave diffraction on a wedge.

Введение. Задачи, связанные с исследованиями экологической ситуации в той или иной области человеческой деятельности, в последнее время приобрели значительную актуальность, что подтверждается большим числом публика-

*Работа выполнена в рамках инициативной НИР.
**E-mail: zvezdina_m@mail.ru, zvezdina_m@mail.ru, zvezdina_m@mail.ru, alex-dipom@mail.ru
***The research is done within the frame of the independent R&D.

ций, например, [1–15]. Одним из важных направлений в данной области исследований является мониторинг электромагнитной обстановки [3–5]. Важность данной задачи обуславливается рядом факторов. Во-первых, широким применением радиопередающих устройств, превратившим современные мегаполисы в зоны с высоким уровнем техногенных электромагнитных полей. Во-вторых, невозможностью профилактики электромагнитного загрязнения окружающей среды, поскольку, как отмечено в работе [3], невозможно очистить эфир от нежелательных излучений радиотехнических средств, воздействующих на население.

Одним из значимых источников электромагнитного излучения в городских условиях является сотовая связь, включающая в себя стационарные передающие радиотехнические объекты (базовые станции) и мобильные радиотелефоны. Поскольку количество пользователей мобильными средствами связи в мире оценивается на уровне 2,06 млрд. чел., а в Российской Федерации — более 115 млн. чел. [3–8], то возникает необходимость контроля влияния данных устройств на здоровье населения, что отмечается в работах [3–18].

Целью работы является оценка влияния конечных размеров крыши жилого здания на селитебной территории на величину плотности потока энергии антенны сотовой связи.

Математическая модель расчетного прогнозирования. С точки зрения электромагнитной экологии, как известно, например, из [4, 16], на этапе проектирования места размещения антенны единственным способом анализа электромагнитной обстановки комплекса радиотехнических средств, включающих и антенные устройства, является расчетное прогнозирование, поскольку в этом случае применение известных средств измерения пока является невозможным. Известными программами расчета санитарно-защитных зон и зон ограничения застройки, являются, например, программный комплекс анализа электромагнитной обстановки, разработанный Самарским отраслевым научно-исследовательским институтом радио [4], а также программа SANZONE, описанная в [19]. Однако главным недостатком разработанных программ является их направленность на расчет частных характеристик оценки электромагнитной обстановки — границ санитарно-защитных зон на высоте 2 метра от поверхности земли по предельно-допустимым уровням. В то же время в соответствии с СанПин [17, п. 3.6] на территориях (крышах), куда исключен доступ людей, не связанных непосредственно с обслуживанием оборудования передающих радиотехнических объектов, должны соблюдаться требования для условий производственных воздействий электромагнитного поля. Таким образом, возникает необходимость визуализации распределения плотности потока энергии в пределах крыши не только на уровне 2 метра, но и на высоте размещения обслуживаемой антенны.

Особенности размещения передающего радиотехнического объекта накладывают ограничения на электродинамическую модель — она должна учитывать не только излучаемую антенной волну, но и волны, отражаемые от плоскости и кромок крыши.

В диапазоне СВЧ, в котором, как следует из анализа данных табл. 1 из [4], функционируют системы сотовой связи GSM и CDMA, длина волны не превышает 1 метра, в связи с этим при проведении экологической экспертизы применяется расчет электромагнитной обстановки в дальней зоне излучения.

Для расчета напряженности поля вблизи антенн сотовой связи применяется соотношение [4, 16]:

$$E = \sqrt{30PG\eta}\,k_\phi F(\alpha)F(\varphi)/R\,, \quad (1)$$

Таблица 1

Основные характеристики некоторых систем сотовой связи

Стандарт	GSM	CDMA
Полоса частот базовая станция – мобильная станция, МГц	935..960	869..894
Полоса частот мобильная станция – базовая станция, МГц	890..915	824..849
Максимальная мощность излучения базовой станции, Вт	50	50

где E — напряженность поля, В/м; P — мощность на входе антенно-фидерного тракта, Вт; G — коэффициент усиления антенны относительно изотропного излучателя в направлении максимального излучения; η — коэффициент полезного действия в антенно-фидерном тракте; R — расстояние от антенны до расчетной точки (наклонная дальность); $F(\alpha)$ — нормированная диаграмма направленности в вертикальной плоскости; $F(\varphi)$ — нормированная диаграмма направленности в горизонтальной плоскости; α, φ — угловые координаты точки наблюдения; $k_\phi = 1{,}15..1{,}3$ — коэффициент, учитывающий двухлучевую модель распространения в условиях статистически неоднородной среды.

При переходе от напряженности поля к плотности потока энергии (ППЭ) применяется соотношение для пересчета дальней зоны [4]:

$$\Pi = E^2/3{,}77. \quad (2)$$

В данном соотношении напряженность поля E выражается в В/м, а величина ППЭ получается в мкВт/см^2. Для дальней зоны функции $F(\alpha)$ и $F(\varphi)$ имеют смысл паспортной диаграммы направленности. В материалах [4, 16] показано, что если в технической документации на излучающие технические средства не имеется необходимого набора данных по направленным свойствам антенн (диаграммы направленности и коэффициенты усиления), а также данных по антенно-фидерному тракту, то прогнозирование становится весьма затруднительным. Обычно такие ситуации наблюдаются при использовании импортных технических средств. В указанных случаях применяется подход, когда диаграммы направленности $F(\alpha)$ и $F(\varphi)$ определяются в каждом конкретном случае из набора реальных часто случающихся ситуаций.

Для диаграмм направленности в вертикальной плоскости можно выделить следующие ситуации:

- в технической документации приводятся диаграммы направленности (обычно в графическом виде). При этом значения диаграммы направленности в произвольной точке определяются методами интерполяции;

- при использовании в качестве передающей антенны симметричного или несимметричного вибраторов с противовесом. Диаграмма направленности рассчитывается с использованием известного соотношения [20]:

$$F(\alpha)=\frac{cos[\,kl\,sin(\alpha-\psi)]-cos(kl)}{(1-cos(kl)cos(\alpha-\psi)} \qquad (3)$$

где l — длина плеча вибратора; $k=2\pi/\lambda$ — волновое число свободного пространства; ψ — угол наклона максимума диаграммы направленности от горизонта;

- при использовании антенн в виде решеток излучателей при расчете диаграммы направленности в вертикальной плоскости применяется только множитель системы [20]:

$$F(\alpha)=\frac{sin\left(n\pi d/\lambda\, sin(\alpha-\psi)\right)}{n\pi d/\lambda\, sin(\alpha-\psi)}, \qquad (4)$$

где n — количество этажей в решетке излучателей; d — расстояние между излучателями в вертикальной плоскости;

- в случае полного отсутствия в технической документации параметров и диаграмм направленности антенн, а также невозможности осмотра антенн расчет осуществляется по формулам для равномерно возбужденной синфазной нити тока в виде [20]:

$$F(\alpha)=\left|\frac{sin u}{u}\right|, \qquad (5)$$

где $u=\pi a/\lambda \sin(\alpha-\psi)$. Величина a может быть либо измерена, либо рассчитана по известному коэффициенту направленного действия по формуле [20]:

$$a=0{,}5\lambda D. \qquad (6)$$

При нахождении диаграммы направленности в горизонтальной плоскости возможны три варианта:

— диаграмму направленности получаем из оцифрованного графика, приведенного в технической документации;

— если антенна обладает ненаправленными свойствами в горизонтальной плоскости, то $F(\varphi)=1$;

— при использовании антенн с секторными диаграммами направленности (в системах сотовой связи) расчет в пределах главного лепестка осуществляется на основе аппроксимационной формулы [20]:

$$F(\varphi)=cos^n(\varphi), \qquad (7)$$

где величина n определяется по известной ширине диаграммы направленности по половинной мощности [20]:

$$cos^n(\varphi_{0,5})=0{,}707. \qquad (8)$$

Как известно [21], основными техническими средствами базовой станции, обслуживающей соту, являются приемопередатчик и антенна. Характеристика направленности антенны в горизонтальной плоскости выбирается по конфигурации зоны обслуживания [4]. Для равнинной или слабопересеченной местности, как правило, в горизонтальной плоскости формируется ненаправленная (круговая) характеристика направленности. В вертикальной плоскости характеристика направленности должна, во-первых, уменьшить излучение электромагнитной энергии в свободное пространство в секторе углов выше горизонта. С этой целью главный лепесток характеристики наклоняют к Земле на угол φ, который зависит от высоты подвеса антенны и составляет величину 1–2 градуса. Во-вторых, форма диаграммы направленности должна обеспечить равномерную напряженность поля в зоне обслуживания.

Влияние конечных размеров крыши в диапазоне СВЧ учитывается с использованием аппарата геометрической теории дифракции (ГТД) на бесконечном клине [4, 16, 22]. Отказ от учета конечных размеров клина на данном этапе расчетов является, как доказано в работах [4, 16, 23], возможным, поскольку антенна обычно размещается на расстоянии нескольких длин волн от угла крыши, следовательно, вклад данной неоднородности в структуру возбуж-

даемого электромагнитного поля имеет второй порядок малости, а отказ от его учета позволяет существенно сократить объем вычислений.

В соответствии с ним выделяются три зоны, показанные на рис. 1 [22]: I зона, в которой при расчетах учитывается только прямой луч; II зона (зона интерференции) — учитывается как прямой, так и отраженный луч; III зона (зона тени), в которой предполагается, что напряженность поля равна нулю.

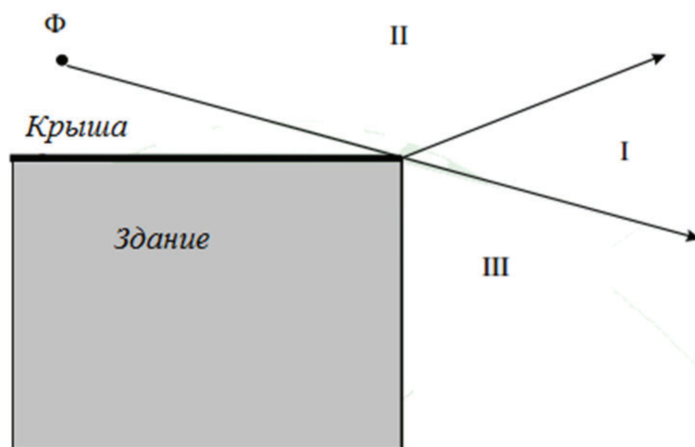


Рис. 1. Деление пространства на зоны в соответствии с ГТД

Ставится задача определения условий нахождения точки наблюдения в указанных зонах для реальных конфигураций крыш и различном размещении антенны относительно крыши. Предполагается, что проекция фазового центра антенны попадает на поверхность крыши.

При оценке электромагнитной обстановки в соответствии с [17] зоной ограничения застройки является территория, где на высоте более двух метров от поверхности земли интенсивность электромагнитного поля превышает предельно допустимый уровень (ПДУ), который для частотного диапазона сотовой связи составляет 10 мкВт/см^2 [18]. Внешняя граница зоны ограничения определяется по максимальной высоте зданий перспективной застройки, на высоте верхнего этажа которых интенсивность электромагнитного поля не превышает ПДУ. Таким образом, при проведении экологической экспертизы возможны два варианта размещения расчетных точек: в горизонтальной плоскости в пределах поверхности крыши; в вертикальной плоскости как в пределах крыши, так и вне её. В первом случае задача возникает при определении режимов работы антенн в период профилактических работ на крыше, во втором — при определении размеров санитарно-защитной зоны. Поскольку размеры статьи ограничены, то остановимся более подробно на решении первой задачи. Как следует из анализа рис. 1, при расчетах ППЭ расчетная точка попадает в зону *II* ГТД.

При проведении расчетов величины ППЭ в соответствии с [16] расчетные точки должны располагаться в пределах поверхности крыши. Для задания положения углов крыши введем декартову систему координат таким образом, чтобы ось *0Y* совпадала с ориентацией на север. В указанной системе координат координаты фазового центра в декартовой системе координат задаются проекциями $\{0,\ \ 0,\ \ h\}$, а координаты точки наблюдения M — $\{x_M,\ \ y_M,\ \ z_M\}$. В выбранной системе координат координаты углов крыши могут быть записаны в виде: $A(x_a, y_a, z_a)$, $B(x_b, y_b, z_b)$, $C(x_c, y_c, z_c)$ и $D(x_d, y_d, z_d)$, а уравнения кромок крыши имеют вид:

$$y = k_{ab}x + a_{ab},\ y = k_{bc}x + a_{bc},\ y = k_{cd}x + a_{cd},\ y = k_{da}x + a_{da}, \tag{9}$$

где $a_{ij} = \dfrac{y_i(x_j - x_i) - x_i(y_j - y_i)}{x_j - x_i}$ — свободный член; $k_{ij} = \dfrac{y_j - y_i}{x_j - x_i}$ — угловой коэффициент уравнения кромки *ij*.

Плотность потока энергии определятся выражением [4]:

$$\Pi = \Pi(\theta_1, \varphi_1, r_1) + \Pi(\theta_2, \varphi_2, r_2)\,. \tag{10}$$

Используемые в данных соотношениях параметры показаны на рис. 2 и находятся на основе формул:

$$\theta_1 = arcsin\left(\frac{h_1 - h_2}{r_1}\right), \quad \theta_2 = \theta_1 + arctg\left(\frac{h_1 + h_2}{\rho}\right) - arctg\left(\frac{h_1 - h_2}{\rho}\right), \tag{11}$$

$$r_1 = \sqrt{\rho^2 + (h_1 - h_2)^2}\ ,\quad r_2 = \sqrt{\rho^2 + (h_1 + h_2)^2}\ , \tag{12}$$

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi = arctg(\, y_M \,/\, x_M\,)\,,\ \rho = \sqrt{x_M^2 + y_M^2}\ . \tag{13}$$

Результаты моделирования. Для оценки плотности потока энергии, создаваемого на высоте 2 м над поверхностью

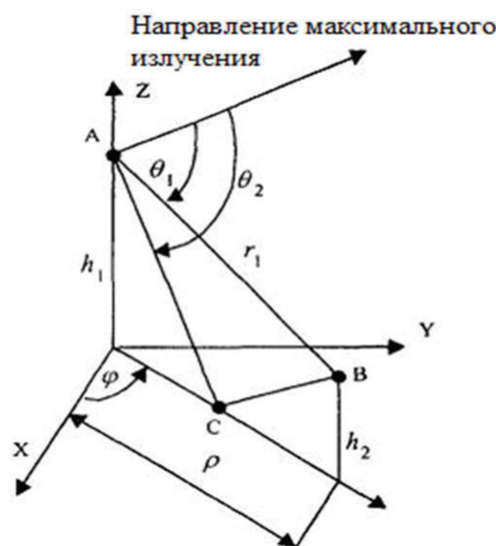


Рис. 2. Отсчет углов при нахождении плотности потока энергии

крыши, были выполнены исследования для следующего варианта размещения антенны. Углы крыши располагались в точках с координатами: $A(0{,}0{,}30)$, $B(-7{,}4{,}30)$, $C(-13.5{,}-4{,}30)$, $D(-2.5{,}-8.5{,}30)$. Фазовый центр антенны размещался над поверхностью крыши на двух высотах — 5 метров и 2 метра, а его горизонтальные координаты выбирались равными: $(-5{,}0{,}35)$ и $(-4{,}2.1{,}35)$. Антенна, функционирующая на частоте 900 МГц в системе сотовой связи GSM, имела мощность передатчика 50 Вт, коэффициент полезного действия антенно-фидерного тракта $\eta = 96\%$, коэффициент усиления $G = 1.6$ [21]. Диаграмма направленности в горизонтальной плоскости имеет изотропный характер, в вертикальной плоскости имеет вид, представленный на рис. 3. При проведении исследований полагалось, что расчетные точки располагались в пределах площади крыши в узлах прямоугольной координатной сетки с дискретом, равным $0{,}25$ длины волны передатчика.

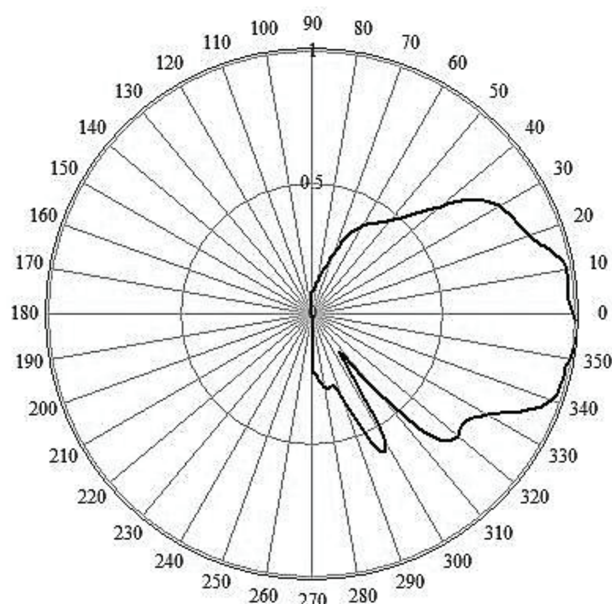


Рис. 3. ДН антенны GSM в вертикальной плоскости

На рис. 4, 5 представлены распределения плотности потока энергии на плоскости, проходящей на высоте 2 метра над поверхностью крыши, для случаев размещения фазового центра антенны на удалении от кромки крыши и

вблизи кромки крыши соответственно. При этом рис. 4–5, *а*) иллюстрируют вариант размещения фазового центра на высоте 5 метров над поверхностью крыши, а рис. 4–5, *б*) — на высоте 2 метра.

Анализ полученных результатов показал, что при размещении антенны базовой станции системы сотовой связи *GSM* на крыше с поперечными размерами примерно 10х10 метров максимальные значения плотности потока энергии составляют в первом случае 0,464 и 0,307 мкВт/см^2, а во втором случае — 0,743 и 0,565 мкВт/см^2 соответственно для первого и второго вариантов размещения фазового центра антенны. По своей величине данные значения намного меньше величины предельно допустимого уровня в 10 мкВт/см^2, что свидетельствует о том, что во время работы антенны можно без ущерба для здоровья человека выходить на крышу.

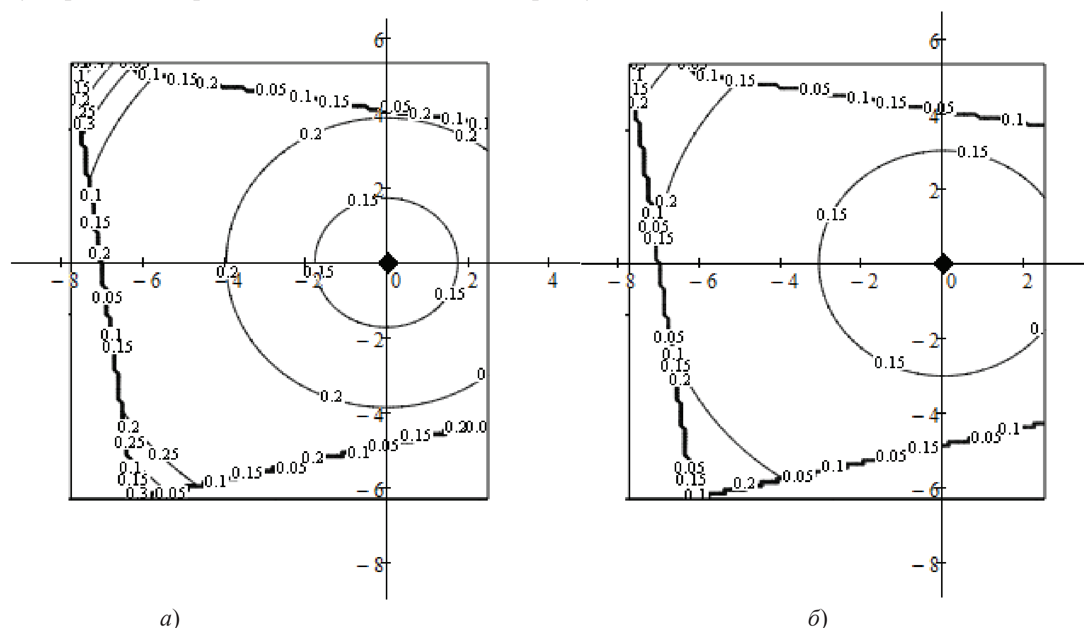


Рис. 4. Распределение ППЭ при размещении антенны вдали от кромки крыши

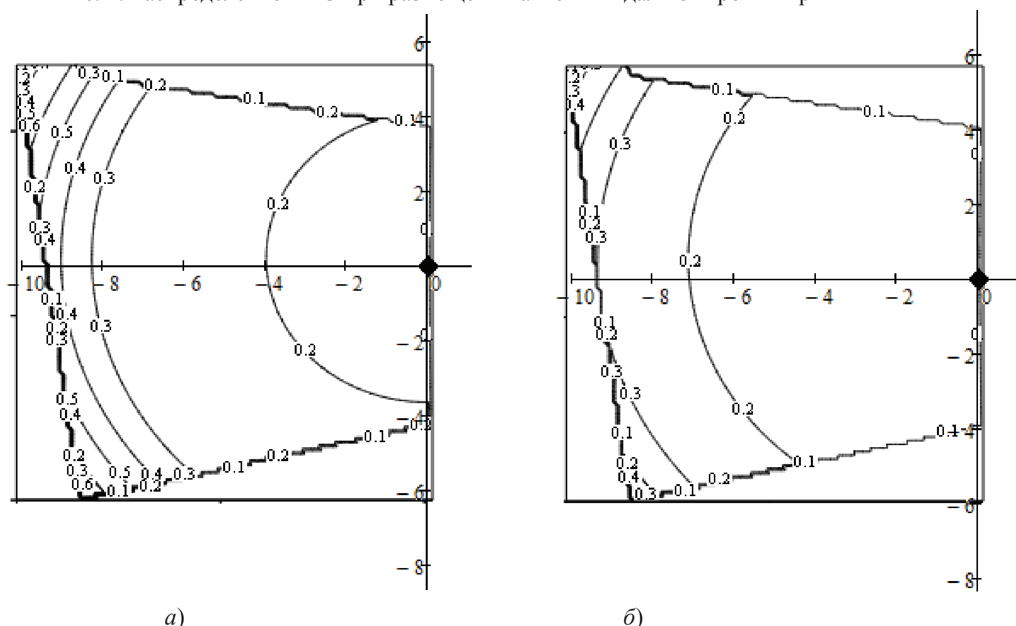


Рис. 5. Распределение ППЭ при размещении антенны вблизи от кромки крыши

Максимальные величины плотности потока энергии наблюдаются в самом дальнем от фазового центра антенны углу крыши (на рисунках — в верхнем левом). Это обусловлено тем, что данной точке в сферической системе координат соответствует минимальный по сравнению с остальными расчетными точками угол места, уровень диаграммы направленности в вертикальной плоскости для которого в соответствии с паспортными данными наибольший. В непосредственной близости под антенной (углы места порядка — 90 градусов) уровень диаграммы направленности в вертикальной плоскости минимальный, следовательно, и плотность потока энергии минимальна и не превышает 0,2 мкВт/см^2. В горизонтальной плоскости диаграмма направленности антенны изотропна. В связи с этим амплитуда

плотности потока энергии в горизонтальном сечении распределяется симметрично относительно фазового центра антенны.

Более высокое размещение фазового центра антенны относительно поверхности крыши либо размещение вблизи кромки крыши приводит к увеличению максимального значения ППЭ, создаваемой на уровне 2 метра. Указанное явление также связано с формой диаграммы направленности антенны.

Выводы. Применение метода расчетного прогнозирования, а также метода геометрической теории дифракции обеспечивает достаточную для практических целей точность результатов при проведении исследований по экологической оценке электромагнитной обстановки на крыше жилого здания в месте установки антенны сотовой связи *GSM*. Выполненные исследования распределения плотности потока энергии в горизонтальной плоскости, проходящей на высоте 2 метра над поверхностью крыши, для типовых вариантов выполнения антенн сотовой связи *GSM* показали, что создаваемый антенной поток электромагнитной энергии имеет плотность, намного меньшую предельно допустимого уровня в 10 мкВт/см^2. В непосредственной близости под антенной плотность потока минимальна и не превышает 0,15–0,2 мкВт/см^2. Максимальная плотность потока энергии наблюдается при большей высоте подвеса антенны и на наибольших расстояниях от фазового центра антенны. В рассматриваемых случаях размещения фазового центра антенны — это один из углов крыши. Полученное распределение плотности потока энергии в горизонтальной плоскости обусловлено направленными свойствами антенны сотовой связи *GSM* — формой сечений диаграммы направленности в азимутальной и вертикальной плоскостях.

Библиографический список

1. Месхи, Б. Ч. Конечно-элементное моделирование процессов переноса загрязнений в производственной среде с учетом завихрений воздушных потоков / Б. Ч. Месхи, А. Н. Соловьёв, Ю. И. Булыгин, Д. А. Корончик // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2012. — Т. 12. — № 6(67). — С. 10–16.

2. Мишугова, Г. В. Моделирование процесса загрязнения атмосферы / Г. В. Мишугова // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2012. — Т. 12. — № 8(69). — С. 12–17

3. Довгуша, В. В. Влияние естественных и техногенных электромагнитных полей на безопасность жизнедеятельности / В. В. Довгуша, М. Н. Тихонов, Л. В. Довгуша // Экология человека. — 2009. — № 12. — С. 3–9.

4. Сподобаев, Ю. М. Основы электромагнитной экологии / Ю. М. Сподобаев, В. П. Кубанов. — Москва : Радио и связь, 2000. — 240 с.

5. Елягин, С. В. Анализ плотности потока энергии (ППЭ) вблизи антенн стандарта *GSM* / С. В. Елягин, В. Е. Дементьев // Вестник Ульян. гос. техн. ун-та. — 2009. — № 3(47). — С. 29–33.

6. Елягин, С. В. Анализ плотностей потока мощности вблизи излучающих антенн / С. В. Елягин // Вестник Ульян. гос. техн. ун-та. — 2008. — № 4. — С. 51–54.

7. Маслаков, М. Д. Проблемы минимизации рисков воздействия электромагнитных полей диапазона радиочастот ≥ 10 кГц до 300 ГГЦ на обслуживающий персонал / М. Д. Маслаков, В. А. Ловчиков, А. Б. Палицын // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2012. — Т. 21. — № 1. — С. 116–120.

8. Гуревич, Е. С. Актуальные задачи санитарно-эпидемиологических экспертиз размещения базовых станций беспроводной радиотелефонной связи / Е. С. Гуревич, Т. С. Попова, О. А. Моисеенко // Здоровье. Медицинская экология. Наука. — 2014. — Т. 58. — № 4. — С. 80–83. [Электронный ресурс]: URL: https://yadi.sk/i/vX4p-x7mZKuuU. (дата обращения : 09.11.14)

9. Fuller, M., Dobson, J. On the significance of the constant of magnetic field sensitivity in animals // Bioelectromagnetics. — 2005. — Vol. 26, № 3. — P. 234–237.

10. A new law SAR antenna structure for wireless handset applications / A.H. Kusuma [et all.] // PIERS. — 2011. — Vol. 112. — P. 23–40. [Электронный ресурс] : URL : http://www.jpier.org/PIER/pier112/02.10101802.pdf. (дата обращения 09.11.2014г.)

11. Hirata, A., Sugiyama, H., Fujiwara, O. Estimation of core temperature elevation in humans and animals for whole-body averaged SAR // PIERS. — 2009. — Vol. 99. — P. 53–70. [Электронный ресурс] : URL : http://www.jpier.org/PIER/pier99/04.09101603.pdf. (дата обращения 9.11.2014г.).

12. Analysis of materials effects on radio frequency electromagnetic fields in human head / M.T. Islam [et all.] // PIERS. — 2012. — Vol. 128. — P. 121–136. [Электронный ресурс] : URL : http://www.jpier.org/PIER/pier128/08.12030105.pdf. (Дата обращения 09.11.2014г.).

13. Mechanisms of RF electromagnetic field absorption in human hands and fingers / Li Chung-Huan [et all] // IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniq. — 2012. — Vol. 60. — № 5. — P. 2267–2276.

14. Correlation analysis on the specific absorption rate (SAR) between metallic spectacle and pins exposed from radiation sources / Mat M.H. [et all] // PIERS Proc., Kuala Lumpur, MALAYSIA, March 27–30, 2012. — 2012. — P. 452–455.

15. Pendry, J.B., Schuring, D., Smith, D.R. Controlling electromagnetic fields // Science. — 2006. — Vol. 312. — № 6. — С. 1780–1782.

16. МУК 4.3–1167–02. Методические указания по определению плотности потока мощности электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазонах частот 700 МГц – 30 ГГц. Утверждены Председателем Госкомитета санитарно-эпидемиологического надзора РФ 7 октября 2002 года. Представлены Минсвязи России № НТУ–1/237 от 20.04.01 г. : [Электронный ресурс] : URL : http://bestpravo.ru/rossijskoje/so-instrukcii/t5r.htm. (дата обращения : 12.11.14)

17. СанПин 2.1.8/2.4.1383–03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов. Утв. Главным гос. санитарным врачом России 9 июня 2003 года. Регистрационный номер 4710. Дата введения 30 июня 2003 года.

18. Гигиенические нормативы ГН 2.1.8. / 2.2.4.019-94. Временные допустимые уровни (ВДУ) воздействия электромагнитных излучений, создаваемых системами сотовой радиосвязи : [Электронный ресурс] : URL : http://www.docload.ru/Basesdoc/5/5222/index.htm. (дата обращения : 20.11.14)

19. Программа SANZONE: [Электронный ресурс]: URL: http://www.ing-tv.ru/index/sanzone/0-53 (дата обращения : 20.12.14).

20. Коротковолновые антенны / Г. З. Айзенберг [и др.]; под ред. Г. З. Айзенберга. — Москва : Радио и связь, 1985. — 536 с.

21.Базовое антенно-фидерное оборудование. Сайт «Радиал» : [Электронный ресурс]: URL: http://www.radial.ru/catalog/antennas/vertical/a3_cdma/ (дата обращения: 14.11.14).

22. Пименов, Ю. В. Линейная макроскопическая электродинамика. Вводной курс для радиофизиков и инженеров. — Долгопрудный : Интеллект, 2008. — 536 с.

23. Захарьев, Л. Н. Теория излучения поверхностных антенн / Л. Н. Захарьев, А. А. Леманский, К. С. Щеглов. — Москва : Сов. радио, 1969. — 230 с.

References

1. Meskhi, B.C., Solovyev, A.N., Bulygin, Y.I., Koronchik, D.A. Konechno-elementnoe modelirovanie protsessov perenosa zagryazneniy v proizvodstvennoy srede s uchyetom zavikhreniy vozdushnykh potokov. [Finite-element modeling of contamination mass transfer process in technological environment with regard to airflow turbulence] Vestnik of DSTU, 2012, vol.12, no. 6(67), pp.10-16 (in Russian).

2. Mishugova, G.V. Modelirovaniye protsessa zagryazneniya atmosfery. [Air contamination process simulation] Vestnik of DSTU, 2012, vol.12, no. 8 (69), pp.12-17 (in Russian.)

3. Dovgusha, V.V., Tihonov, M.N., Dovgusha, L.V. Vliyanie estestvennykh i tekhnogennykh elektromagnitnykh poley na bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. [Natural and technological electromagnetic fields influence on safety of vital activity.] Human Ecology, 2009, no. 12, pp. 3-9 (in Russian).

4. Spodobayev, Y.M., Kubanov, V.P. Osnovy electromagnitnoy ekologii. [Principles of electromagnetic ecology] Moscow: Radio i svyaz’, 2000, 240 p. (in Russian).

5. Elyagin, S.V., Dementyev V.E. Analiz plotnosti potoka energii (PPE) vblizi antenn standarta GSM. [Analysis of energy flux density near aerials of GSM standard] Vestnik Ul’yanovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2009, no. 3 (47), pp. 29-33 (in Russian).

6. Elyagin, S.V. Analyz plotnostey potoka moshchnosti vblizi izluchayushchikh antenn. [Measurement of density of power flux with the help of a mobile measurement terminal.] Vestnik Ul’yanovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2008, no. 4, pp. 51-54 (in Russian).

7. Maslakov, M.D., Lovchikov V.A., Palitsyn, A.B. Problemy minimizatsii riskov vozdeystviya elektromagnitnykh poley diapazona radiochastot $\geq$ 10 kGts do 300 GGts na obsluzhivayushchiy personal. [Problems of minimization of risk of influence of electro-magnetic fields by frequency from 10 kHz to 300 GHz on attendants.] Problems of Technosphere Risk Management, 2012, vol. 21, no. 1, pp. 116-120 (in Russian).

8. Gurevich, E.S., Popova, T.S., Moiseyenko, O.A. Aktual’nye zadachi sanitarno-epidemiologicheskikh eskpertiz razmeshcheniya bazovykh stantsiy besprovodnoy radiotelefonnoy svyazi. [Actual problems of sanitary-epidemiological expertise base stations of the wireless radiotelephone communication] Health. Medical ecology. Science. 2014, no. 4(58), pp. 80-83. Available at: httpd://yadi.sk/i/vX4p-x7mZKuuU (accessed: 09.11.14) (in Russian).

9. Fuller, M., Dobson, J. On the significance of the constant of magnetic field sensitivity in animals. Bioelectromagnetics, 2005, vol. 26, no. 3, pp. 234-237.

10. Kusuma, A.H., et al. A new law SAR antenna structure for wireless handset applications. PIERS, 2011, vol. 112, pp. 23-40. Available at: http://www.jpier.org/PIER/pier112/02.10101802.pdf. (accessed: 09.11.2014)

11. Hirata, A., Sugiyama, H., Fujiwara, O. Estimation of core temperature elevation in humans and animals for whole-body averaged SAR. PIERS, 2009, vol. 99, pp. 53-70. Available at : http://www.jpier.org/ PIER/pier99/04.09101603.pdf. (accessed: 09.11.2014).

12. Islam, M.T., et al. Analysis of materials effects on radio frequency electromagnetic fields in human head. PIERS, 2012, vol. 128, pp.121-136. Available at : http://www.jpier.org/PIER/pier128/ 08.12030105.pdf. (accessed: 09.11.2014).

13. Li, Chung-Huan, et al. Mechanisms of RF electromagnetic field absorption in human hands and fingers. IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniq. 2012, vol.60, no. 5, pp. 2267-2276.

14. Mat, M.H., et al. Correlation analysis on the specific absorption rate (SAR) between metallic spectacle and pins exposed from radiation sources. PIERS Proc., Kuala Lumpur, MALAYSIA, March 27-30, 2012, pp.452-455.

15. Pendry, J.B., Schuring, D., Smith, D.R. Controlling electromagnetic fields. Science, 2006, vol. 312, no. 6, pp. 1780-1782.

16. MUK 4.3-1167-02. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu plotnosti potoka moshchnosti elektomagnitnogo polya v mestakh gazmeshcheniya radiosredstv, rabotayushchikh v diapazone chastot 700 MGts – 30 GGts. [Methodical guidelines for estimation of power flux density in locations of radio facilities of 700 MHz to 30 GHz]. Appr. by Chairman of State Committee for Sanitary and Epidemiological Supervision on October, 7, 2002. Available at : http://bestpravo.ru/rossijskoje/so-instrukcii/t5r.htm. (accessed: 12.11.14) (in Russian).

17. SanPin 2.1.8/2.4.1383-03. Gigienicheskiye trebovaniya k razmeshcheniyu i ekspluatatsii peredayushchikh radiotekhnicheskikh ob’’yektov. [Hygienic requirements to placement and operation of radio transmitting facilities.] Appr. by Chief public health official of Russia on June 9, 2003. Reg. no. 4710. Effective as of June 30, 2003 (in Russian).

18. Gigienicheskie normativy GN 2.1.8. / 2.2.4.019.Vremennye dopustimye urovni (VDU) vozdeystviya elektromagnitnykh izlucheniy, sozdavaemykh sistemami sotovoy svyazi. [Health standards GN 2.1.8./2.2.4.019-94.Tentative maximum permissible level for emectromagnetic radiation from cellular systems.] Available at: http://www.docload.ru/Basesdoc/5/5222/index.htm. (accessed: 20.11.14) (in Russian).

19. Programma SANZONE. [SANZONE application.] Available at: http://www.ing-tv.ru/index/sanzone/0-53. (accessed: 20.12.14).

20. Aizenberg, G.Z., et al., Aizenberg, G.Z., ed. Korotkovolnovye antenny. [High-frequency antennae.] Moscow : Radio i svyaz’, 1985, 536 p. (in Russian).

21. Bazovoe antenno-fidernoe oborudovanie. [Basic antenna-feeder hardware equipment.] Available at : http://www.radial.ru/catalog/antennas/vertical/a3_cdma/ (accessed: 14.11.14) (in Russian).

22. Pimenov, Y.V. Lineynaya makroskopicheskaya elektrodinamika. Vvodniy kurs dlya radiofizikov i inzhenerov. [Linear macroscopic electrodynamics. Introductory course for radio physicists and engineers.] Dolgoprudniy : Intellect, 2008, 536 p. (in Russian).

23. Zakharyev, L.N., Lemanskiy, A.A., Shcheglov, K.S. Teoriya izlucheniya poverhnostnykh antenn. [Radiation theory for aperture antennas.] Moscow : Sovetskoye radio, 1969, 230 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 26.02.2015
Сдана в редакцию 27.02.2015
Запланирована в номер 30.06.2015